

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-345478

(P2001-345478A)

(43) 公開日 平成13年12月14日 (2001. 12. 14)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 4 G 0 7 7
C 3 0 B 29/38		C 3 0 B 29/38	D 5 F 0 4 1
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	5 F 0 4 5
H 0 1 S 5/343		H 0 1 S 5/343	5 F 0 7 3

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願2000-164349 (P2000-164349)

(22) 出願日 平成12年6月1日 (2000. 6. 1)

(71) 出願人 591080069

酒井 士郎

徳島県徳島市八万町中津浦174-4

(71) 出願人 500221563

ナイトライド・セミコンダクター株式会社  
徳島県鳴門市瀬戸町明神字板屋島115番地  
の7

(72) 発明者 酒井 士郎

徳島県徳島市八万町中津浦174番4号

(74) 代理人 100075258

弁理士 吉田 研二 (外2名)

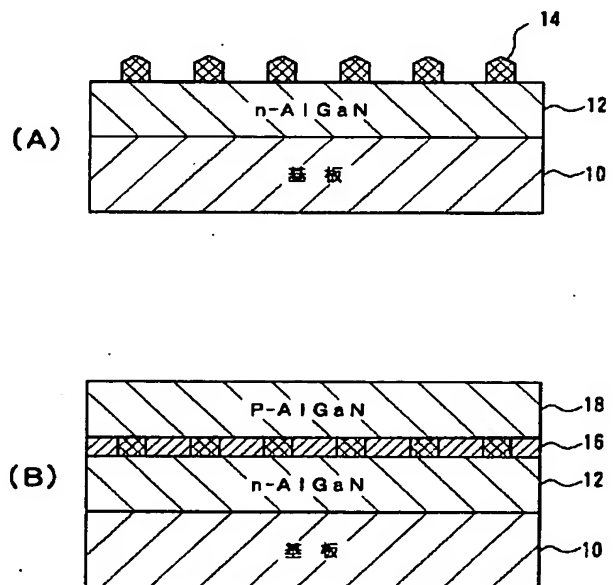
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 GaN系化合物半導体において、転位の存在にかかわらず発光効率を向上させる。

【解決手段】 基板10上にn型AlGaIn層12、アンドープAlGaIn層16、p型AlGaIn層18を積層してダブルヘテロ構造とする。アンドープAlGaIn層16を形成する際に、n型AlGaIn層12にGaあるいはAlのドロップレット14を形成する。ドロップレット14の存在により、アンドープAlGaIn層16中のGaとAlの組成比が変動し、バンドギャップに空間的ゆらぎが生じる。バンドギャップの空間的ゆらぎにより電子と正孔の発光再結合割合が増大する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に複数の窒化ガリウム系化合物半導体を積層する窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法であって、

前記複数の窒化ガリウム系化合物半導体の少なくとも1つに、バンドギャップの空間的ゆらぎを形成するステップを有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

【請求項2】 請求項1記載の方法において、

前記バンドギャップの空間的ゆらぎは、下地層に前記窒化ガリウム系化合物半導体の組成物を離散的に形成し、前記組成物が形成された下地層の上に前記窒化ガリウム系化合物半導体を成長させることにより形成されることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

【請求項3】 請求項1記載の方法において、

前記バンドギャップの空間的ゆらぎは、下地層に前記窒化ガリウム系化合物半導体の組成物拡散長を変化させる層を離散的に形成し、前記層が形成された下地層の上に前記窒化ガリウム系化合物半導体を成長させることにより形成されることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

【請求項4】 請求項1記載の方法において、

前記バンドギャップの空間的ゆらぎは、下地層に格子不整合を有する層を形成し、前記層が形成された下地層の上に前記窒化ガリウム系化合物半導体を成長させることにより形成されることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

【請求項5】 請求項2記載の方法において、

前記窒化ガリウム系化合物半導体はAlGaInであり、前記組成物はGaあるいはAlであることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

【請求項6】 請求項3記載の方法において、

前記窒化ガリウム系化合物半導体はAlGaInであり、前記層はSiInであることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

【請求項7】 請求項4記載の方法において、

前記複数の窒化ガリウム系化合物半導体は超格子構造をなすことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

【請求項8】 請求項7記載の方法において、

前記複数の窒化ガリウム系化合物半導体はAlGaIn及びGaInであり、前記格子不整合を有する層はAlIn、InN、AlInGaIn、Si、MgNの少なくともいずれかであることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法、特に発光素子の発光効率改善に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来より、発光素子材料、特に紫外線領域の発光素子材料としてAlGaIn、AlGaIn/GaN量子井戸型超格子(MQW)等が知られている。これらの材料は通常サファイア基板上に形成され、格子不整合により $10^8 \sim 10^9 / \text{cm}^2$ 程度の転位が存在する。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 転位点では、キャリアである電子と正孔が発光に寄与しないで再結合する(非発光再結合)ため、転位密度が増大する程、一般に発光素子の発光効率が低下してしまう。

【0004】 図4には、発光素子材料のバンドギャップEgが模式的に示されている。図に示されるように、発光素子材料のバンドギャップに空間的なゆらぎが存在する場合、発光はバンドギャップの狭いところ(図中aで示す部位)のみで生じる。したがって、バンドギャップの空間的ゆらぎに基づく発光点の密度が、発光素子材料中の転位の密度よりも高く設定できれば、転位点で電子と正孔が非発光再結合する(図中bで示す)割合よりもバンドギャップの狭い点で生じる発光再結合の割合を高くでき、発光効率の劣化を抑制し得る。

【0005】 本発明の目的は、GaNやAlGaInなどの窒化ガリウム系化合物半導体に転位が存在しても、発光効率等の特性を向上させることができる製造方法を提供することにある。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために、本発明の製造方法は、基板上に複数の窒化ガリウム(GaN)系化合物半導体を積層する窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法であって、前記複数のGaN系化合物半導体の少なくとも1つに、バンドギャップの空間的ゆらぎを形成するステップを有することを特徴とする。バンドギャップに空間的ゆらぎを形成し、バンドギャップの狭い部位でキャリアの再結合を生じさせることで転位の存在によらずに発光効率を上げることができ、バンドギャップの空間的ゆらぎは、転位の密度よりも高い密度で形成することが望ましい。例えば、転位の密度が $10^8 \sim 10^9 / \text{cm}^2$ である場合、発光点(バンドギャップの狭い部位)間の平均距離が $1 \mu\text{m}$ 以下となるように空間的ゆらぎを形成することが望ましい。

【0007】 本発明の1つの実施形態では、バンドギャップの空間的ゆらぎは、下地層に前記GaN系化合物半導体の組成物を離散的に形成し、前記組成物が形成された下地層の上に前記GaN系化合物半導体を成長させることにより形成される。組成物が下地層に存在すると、GaN系化合物半導体をその下地層の上に形成する際に、当該組成物の固層組成が高くなり、組成物が存在しない部位との間で組成比率に差が生じる。この組成比率の差によりバンドギャップの空間的ゆらぎが生じる。GaN系化合物半導体の組成物とは、例えばAlGaInの

場合にはAl、Ga、Nのいずれかであり、InGa<sub>N</sub>の場合にはIn、Ga、Nのいずれかである。離散的に形成される組成物の密度を調整することで、バンドギャップの空間的ゆらぎの周期（あるいは密度）を調整することができる。

【0008】また、本発明の他の実施形態では、バンドギャップの空間的ゆらぎは、下地層に前記Ga<sub>N</sub>系化合物半導体の組成物拡散長を変化させる層を離散的に形成し、前記層が形成された下地層の上に前記Ga<sub>N</sub>系化合物半導体を成長させることにより形成される。組成物拡散長を変化させる層が下地層に存在すると、Ga<sub>N</sub>系化合物半導体をその下地層の上に形成する際にGa<sub>N</sub>系化合物半導体の組成物間でその拡散長変化に起因した組成変化が生じる。この組成変化によりバンドギャップの空間的ゆらぎが生じる。組成物拡散長を変化させる層の密度を調整することで、バンドギャップの空間的ゆらぎの周期（あるいは密度）を調整することができる。

【0009】また、本発明の他の実施形態では、バンドギャップの空間的ゆらぎは、下地層に格子不整合を有する層を形成し、前記層が形成された下地層の上に前記Ga<sub>N</sub>系化合物半導体を成長させることにより形成される。下地層に格子不整合が存在すると、その部位において下地層の上に形成されるGa<sub>N</sub>系化合物半導体の層厚が他の部分と比べて相違する（薄くなる）こととなり、この層厚の変化によりバンドギャップが空間的にゆらぐことになる。Ga<sub>N</sub>系化合物半導体が例えば量子井戸構造である場合には、バンドギャップの空間的ゆらぎは顕著となる。

【発明の実施の形態】以下、図面に基づき本発明の実施形態について説明する。

【0010】図1には、本実施形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法が示されている。本実施形態では、n型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N／アンドープAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N／p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nの3層ダブルヘテロ構造発光素子を製造している。

【0011】まず、(A)に示されるように、サファイア等の基板10上にn型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層12を1050度で成長させる。次に、800～1050度の温度で数秒間トリメチルガリウムと窒素ガスを基板に供給し、MOCVD法によりn型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層12上に約10～500nm径のガリウムドロップレット14を離散的に形成する。

【0012】そして、(B)に示されるように、Gaのドロップレット（あるいはガリウムの微小塊）14が形成されたn型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層12上に、1050度でアンドープAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層16を成長させる。このとき、Gaドロップレットが存在する部位では、アンドープAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層16中のガリウムの固相組成が高くなり、アンドープAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層16のバンドギャップに空間的なゆらぎが形成される。(B)では、ガリウ

ムドロップレット14の存在によりアンドープAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層16中に組成変動が生じる様子が異なるハッチングで模式的に示されている。アンドープAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層16は、例えば0.05μm程度の厚とすることができる。このような組成変動は、バンドギャップの空間的ゆらぎ、すなわちバンドギャップの広狭を生じさせる。バンドギャップに空間的なゆらぎが形成されたアンドープAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層16を成長させた後、1050度でp型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層18を成長させ、ダブルヘテロ構造とする。なお、以上のような半導体層の成長は、反応管のサセプタ上に基板を載置し、ヒータで基板10を加熱するとともに反応管に順次原料ガスを導入することで行うことができる。

【0013】以上のようにして形成されたダブルヘテロ型発光素子に電圧を印加して発光させたところ、Gaドロップレット14を形成せずに成長させた構造の発光強度に比べ約10倍の発光強度が得られることを出願人は確認している。

【0014】なお、本実施形態ではドロップレット14としてGaを用いているが、AlGa<sub>N</sub>の組成物であるAlあるいはGaのいずれを用いてもよい。トリメチルガリウムの代わりにトリメチルアルミニウムを加熱した基板10上に流すことで、Alのドロップレットを形成することができる。

【0015】図2には、他の実施形態に係る製造方法が示されている。本実施形態においても、図1と同様にAlGa<sub>N</sub>の3層ダブルヘテロ構造発光素子を製造している。

【0016】まず、(A)に示されるように、基板10上に1050度でn型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層12を成長させた後、n型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層12の表面にSi<sub>N</sub>層15を離散的に形成する。Si<sub>N</sub>層15を離散的に形成するには、Si<sub>N</sub>を全面に形成した後にその一部を除去することで形成してもよく、あるいはSi<sub>N</sub>の原料ガスであるシランガスとアンモニアガスの流量を調整することで形成してもよい。Si<sub>N</sub>層15が形成された部位はマスク部、Si<sub>N</sub>層15が形成されていない部位は窓部となる。

【0017】次に、(B)に示されるように、Si<sub>N</sub>層15が形成されたn型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層12上にアンドープAlGa<sub>N</sub>層16を成長させる。このとき、成長はSi<sub>N</sub>層15が形成されていない窓部から生じ、やがてSi<sub>N</sub>層15上にも成長していく。Si<sub>N</sub>層15上で成長する場合には、Ga原子とAl原子のSi<sub>N</sub>上での拡散長が異なるため、窓部とマスク部でアンドープAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層16中におけるAlとGaの組成が異なることになる。具体的には、Si<sub>N</sub>上ではAlはGaに比べてあまり動かず固体に取り込まれるため、窓部においてはAl組成が小さくなる。Al組成が小さくなるとバンドギャップは狭く（小さく）なるから、アンドープA

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層16のバンドギャップに空間的ゆらぎが生じることになる。バンドギャップに空間的なゆらぎが形成されたアンドープ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層16を成長させた後、p型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 層18を成長させ、ダブルヘテロ構造とする。

【0018】本実施形態においても、転位密度以上に容易にバンドギャップの空間的ゆらぎを形成することができるので、発光効率を向上させることができる。

【0019】図3には、さらに他の実施形態に係る製造方法が示されている。本実施形態では、 $\text{AlGaIn}/\text{GaN}$ の量子井戸型超格子(MQW)発光素子を製造している。

【0020】基板(図示せず)上に $\text{AlGaIn}$ 層20を形成し、次に $\text{GaN}$ 層22を形成する。以下、同様にしてnピッチ(nは例えば20とすることができる)繰り返し、超格子構造とする。各層の厚さは1~100nm、例えば5nm程度とすることができる。そして、 $\text{AlGaIn}$ 層20上に $\text{GaN}$ 層22を形成する際に、格子不整合の比較的大きな材料、具体的には $\text{AlIn}$ 、 $\text{InN}$ 、 $\text{AlInGaIn}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{MgN}$ 等の層(格子不整合層)21を離散的に形成し、この層21が形成された $\text{AlGaIn}$ 層20上に $\text{GaN}$ 層22を形成する。各層及び層21は、上述した実施形態と同様にMOCVD法で形成することができる。超格子の界面に格子不整合の大きな物質が存在すると、表面に微小な荒れが発生する。この荒れの部分で $\text{GaN}$ 層22の厚さが他の部分と異なることになり、層の厚さが不均一になると量子効果に基づく量子単位が空間的に変化するため、バンドギャップが空間的にゆらぐことになる。層21を十分な密度で形成し、バンドギャップの空間的ゆらぎの密度を転位密度以上とすることで、発光効率を向上させることができる。

【0021】本願出願人は、図3に示された超格子構造の発光素子(層21として $\text{AlIn}$ を使用)に電圧を印加して発光させた場合、層21を形成しない場合に比べて約10倍の発光強度が得られることを確認している。

【0022】以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、その技術的思想の範囲内で種々の変更が可能である。例えば、図2において $\text{AlGaIn}$ 組成物の拡散長を変化させる層として $\text{SiN}$ ではなく他の材料、例えば $\text{SiO}_2$ を用いることも可能である。

【0023】また、図3においては $\text{AlGaIn}$ 層20上に格子不整合層21を形成しているが、 $\text{GaN}$ 層22上に格子不整合層21を形成し、 $\text{AlGaIn}$ 層20のバンドギャップに空間的ゆらぎを形成することもできる。

【0024】さらに、図3においては $\text{AlGaIn}/\text{GaN}$ のMQW構造としたが、他の材料でMQW構造を形成することもできる。例えば、 $\text{AlGaIn}/\text{AlIn}/\text{GaN}$ でMQW構造を形成することが好適である。この場合、 $\text{AlGaIn}$ と $\text{AlIn}$ との界面、及び $\text{AlIn}$ と $\text{GaN}$ との界面に格子不整合層21を形成することができる。

【0025】

【発明の効果】本発明によれば、 $\text{GaN}$ 系化合物半導体のバンドギャップの空間的ゆらぎを容易に形成することができ、これにより発光効率等の特性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施形態の製造方法を示す説明図である。

【図2】 他の実施形態の製造方法を示す説明図である。

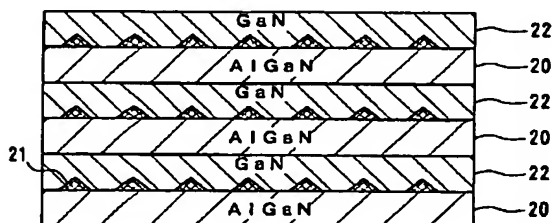
【図3】 他の実施形態の製造方法を示す説明図である。

【図4】 バンドギャップの空間的ゆらぎを示す説明図である。

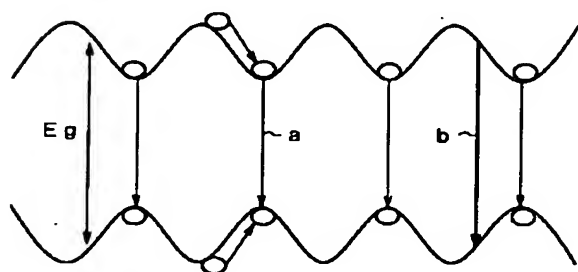
【符号の説明】

10 基板、12 n型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 層、14 Gaドロップレット、15  $\text{SiN}$ 層、16 アンドープ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層、18 p型 $\text{AlGaIn}$ 層、21 格子不整合層。

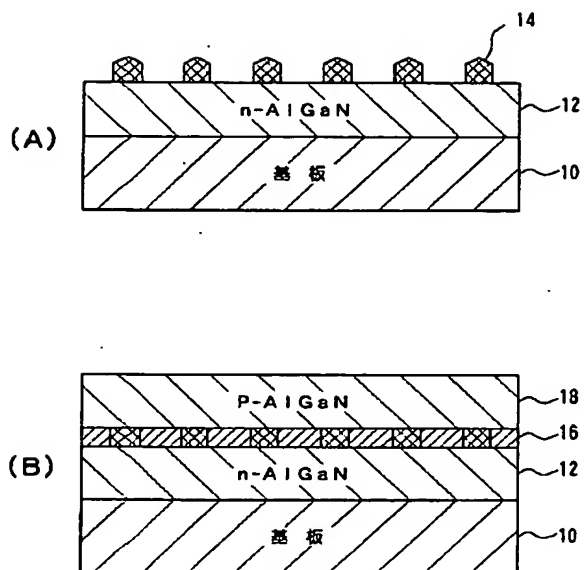
【図3】



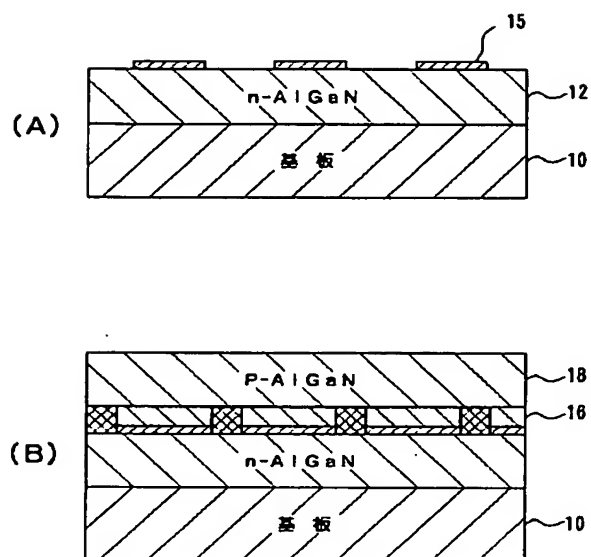
【図4】



【図1】



【図2】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4G077 AA03 BE11 BE15 DB08 EF01  
 5F041 AA03 CA04 CA05 CA33 CA34  
 CA40 CA46 CA65 CA73  
 5F045 AA04 AB02 AB09 AB14 AB17  
 AB18 AC01 AC08 AC12 AD12  
 AD13 AD14 AF09 BB16 CA09  
 DA53 DA54 DA55 DA63 DB02  
 5F073 AA74 CA02 CA07 CB05 DA05